

EVALUACION DEL NIVEL EQUIVALENTE DE RUIDO EMPLEANDO EL SOFTWARE DE SIMULACION MITHRA

Daniel García Almiñana (p), Carlos Antonio Caballero Valdés, Leonor Patricia Güereca Hernández, Ricardo Alfredo Rodríguez Alvarado

RESUMEN

La presente comunicación tiene por objeto presentar los primeros resultados de un trabajo de investigación desarrollado dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental de la UPC, concretamente en el Módulo de Contaminación Acústica, referente a la contrastación en campo de los resultados de simulación acústica obtenidos mediante el software MITHRA, desarrollado por el Instituto "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment" (CSTB) con el soporte de la agencia 01dB de Lyon.

Para ello se escogió una zona urbana en fase de crecimiento en el municipio de Cubelles (Barcelona), cercana al trazado de la red estatal de ferrocarriles, y se realizó una campaña de mediciones del nivel de ruido equivalente (L_{eq} , ponderado A). Posteriormente se realizó un trabajo de simulación de los resultados empleando para ello el software Mithra, aplicando tanto los parámetros definitorios del terreno y edificios como el flujo de vehículos y trenes.

Los resultados de la comparativa han sido satisfactorios, posibilitándose la realización de cálculos de impacto acústico en zonas de nueva urbanización, simulando tanto los focos de emisión como también las medidas correctoras apropiadas para obtener los niveles de confort deseados.

PALABRAS CLAVE: Simulación, nivel de ruido equivalente, software Mitra

ABSTRACT

This communication aims to show results of one Research Task conducted in framework of Ph.D. Programme in Environmental Engineering in Polytechnic University of Catalonia (UPC). This task was developed as a part of Acoustic Contamination Module and was focused to compare field measurements of noise and simulation results using MITHRA software, which was developed by Institute "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment" (CSTB), supported by agency 01dB from Lyon.

An urban growing area in the neighbourhood of Barcelona (Cubelles) was selected. This area lies near railway lines. A measurement campaign of equivalent noise level (L_{eq}) was conducted and, afterwards, some simulation using Mithra software, considering building and traffic parameters allowed contrasting of results.

Comparison showed good marks, making it possible to implement acoustic impact studies in new growing areas by simulating noise sources as well as correcting actions in order to achieve expected comfort levels.

KEY WORDS: Simulation, equivalent noise level, Mitra software

CORRESPONDENCIA – Edificio ETSEIT TR5 – Despacho 206, C/ Colom 11, 08222 Terrassa / Tel. 937.398.921 / email daniel.garcia@upc.es

EVALUACION DEL NIVEL EQUIVALENTE DE RUIDO EMPLEANDO EL SOFTWARE DE SIMULACION MITHRA

1.- OBJETO

El objeto del estudio ha sido **comparar mediciones** del *nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (L_{eq})* realizadas en campo con respecto a los resultados de simulación obtenidos con el modelo de simulación MITHRA.

La zona de estudio contempla un área en proceso de urbanización en el municipio de Cubelles, cercano al ferrocarril, según muestran las *figuras 1 y 2*.

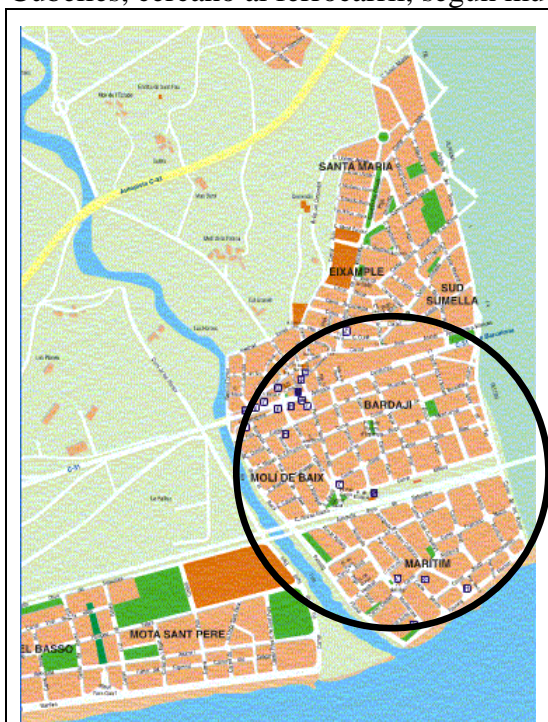


Fig. 1. Cubelles

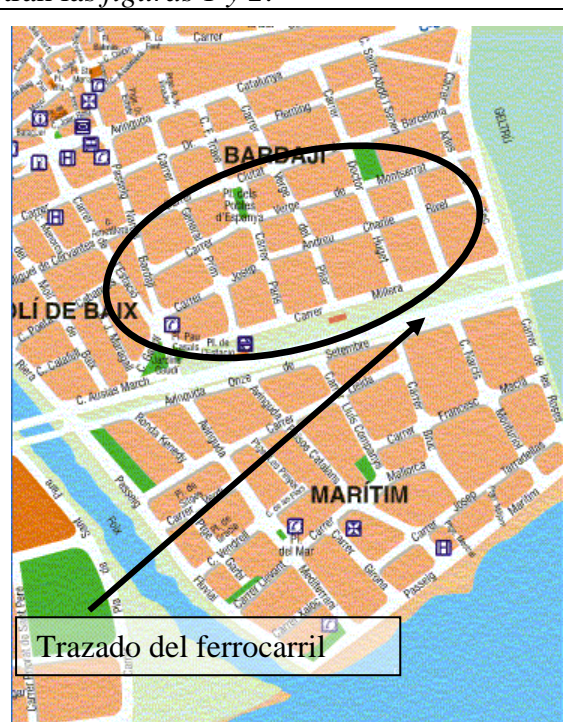


Fig. 2 Ampliación /detalle zona mediciones

Concretamente, **las mediciones se realizaron en la calle Millera**, entre las calles Doctor Huguet y Constanza. Las *fotos 1 a 4* permiten tener una panorámica de la zona.



Foto 1.- Vista frontal – Orientación Sur



Foto 2.- Vista lateral – Orientación Oeste



Foto 3.- Vista lateral - Orientación Este



Foto 4.- Vista posterior – Orientación Norte

2.- ALCANCE

El alcance del estudio ha comprendido la realización de una campaña de mediciones de nivel de presión sonora durante períodos de 15 minutos para la determinación del nivel equivalente de ruido, ponderado A, (Leq) y la simulación comparativa mediante el software MITHRA.

Para las mediciones se emplearon tres sonómetros CESVA, calibrados y con un período de integración de 15 minutos, que se situaron a 20m de la línea férrea (receptor R1), 34 m de la línea férrea (receptor R2) y 30 m de la línea férrea, junto a un muro pre-existente (receptor R3). R1 y R2 estaban situados a 1.5 m de altura sobre el nivel del terreno y R3 estaba a 1.2 m debido a que el muro tiene sólo 1.5 m de altura.

No se ha pretendido, en este estudio, realizar una comparación exhaustiva de resultados con el programa MITHRA sino establecer unas medidas puntuales que puedan ser comparativas entre sí. Tampoco se ha pretendido realizar un estudio de impacto ambiental en la zona analizada ni verificar el cumplimiento de las ordenanzas locales del municipio.

3.- JUSTIFICACION

El ruido es un contaminante susceptible de afectar la salud de las personas y su calidad de vida, ya que además de tener incidencia sobre la salud, también influencia la comunicación y el comportamiento. Los efectos observados sobre la salud son, entre otros:

- Disminución temporal o permanente de la capacidad auditiva,
- Manifestaciones de sensaciones de molestia,
- Nerviosismo,
- Irritabilidad,
- Interrupción del sueño, lo que lleva a manifestar: cansancio, disminución del rendimiento, disminución de la concentración en el trabajo, alteraciones del metabolismo, del sistema nervioso central, del sistema neurovegetativo, etc.

Por ello resulta importante, especialmente en las nuevas zonas urbanizables, conocer el nivel de calidad acústica poder tomar las medidas preventivas oportunas antes de la aparición de estos problemas.

En ese sentido, herramientas como el modelo MITHRA demuestran su utilidad, ya que permiten realizar simulaciones de situaciones cotidianas así como evaluar la viabilidad técnica de diversas medidas preventivas, ayudando a la planificación ordenada del crecimiento urbano.

Cubelles es un municipio con una gran estacionalidad. Su censo asciende a unos 5.000 habitantes, mientras que, en época estival, su ocupación puede superar los 15.000 habitantes. El atractivo turístico de Cubelles ha impulsado notablemente la demanda de nuevos suelos urbanos; una de las áreas de crecimiento se encuentra ubicada entre el barrio marítimo y la zona conocida como Bardají, justo al Norte del trazado del ferrocarril que discurre en la dirección Este-Oeste.

4.- METODOLOGIA

Para la realización de las mediciones en campo se han tomado en consideración las recomendaciones indicadas en la norma ISO 1996. Para la interpretación de los resultados, se han tomado en consideración las indicaciones y niveles de referencia fijados en la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, la Ley Catalana del ruido (Llei 16/2002 de Protecció contra la Contaminació Acústica) así como, especialmente, la Ordenanza Municipal sobre ruido recogida en el Pla General d'Ordenació Municipal de la Vila de Cubelles (Art. 218 – Limitació pels seus efectes).

Se indican a continuación los requisitos básicos en cuanto a la determinación del punto de realización de las medidas:

- Distancia superior a 20 m con respecto a infraestructuras viarias.
- Distancia de 1.5 m con respecto a los edificios de viviendas.
- Altura de la medición de 1.5 m con respecto de nivel de suelo.

Asimismo, se indican los niveles de referencia de nivel de presión sonora equivalente recogidos en las distintas normativas consultadas:

- Según la ordenanza municipal, el nivel equivalente entre las 8 y las 22 h. no debe superar 60 dBA, siendo inferior a 50 dBA entre las 22 y las 8 h. No existe indicación diferencial referente a los días de la semana.
- Dichos niveles coincidirían con los que la Ley Catalana marca para zonas de alta sensibilidad aunque, en dicho caso, el horario se establece entre las 7 y 23h en horario diurno y entre las 23 y 7h en horario nocturno¹. Además, la Ley Catalana indica que los niveles son los establecidos para días laborables de lunes a viernes.



¹ La Directiva 2002/49/CE de la Unión Europea separa en tres los horarios posibles para mediciones: horario diurno, de 7 a 19 horas; vespertino, de 19 a 23; y nocturno, de 23 a 7 horas.

5.- RESULTADOS

Se ha realizado una comparación entre los resultados experimentales determinados mediante instrumentación de campo y el software de simulación MITHRA. En los apartados siguientes se muestran los resultados obtenidos para cuatro series de mediciones de Leq elaboradas el día 31.05.2003, entre las 17h30' y las 18h30', en períodos de 15 minutos.

5.1.- Mediciones en campo

La *tabla 1* muestra las mediciones de ruido en la zona de estudio. Todos los valores se muestran en forma de Leq en dBA.

Período / Receptores	R1 (a 20m)	R2 (a 34m)	R3 (junto al muro)
M1 / 17:30 – 17:45	65.5	69.9	62.1
M2 / 17:45 – 18:00	55.4	56.5	52.3
M3 / 18:00 – 18:15	59.6	59.8	54.2
M4 / 18:15 – 18:30	63.7	63.1	56.7

Tabla 1.- Leq (dBA) registrado en los receptores para los períodos de tiempo definidos

Como puede observarse, el mayor nivel de ruido percibido se produjo en la medición M1, seguido de la M4, la M3 y la M2.

Los eventos más significativos acontecidos en cada uno de los períodos son los que se indican en la *tabla 2*.

Período	Tipo de tren*	Número de coches (incl. locomotora)	Velocidad estimada** (km/h)	Sentido***	Vehículos totales****
M1	ARCO	6	100	TAR	9
	CAT.EXP	4	90	TAR	
	CAT.EXP	6	80	BCN	
	CAT.EXP	6	80	BCN*****	
M2	440	6	40	TAR	8
	451	3	40	BCN	
	CAT.EXP	3	60	BCN	
M3	ALTARIA	10	80	BCN	7
	CAT.EXP	3	85	TAR	
	ARCO	7	80	BCN	
	451	3	40	BCN	
	440	6	40	TAR	
M4	TALGO	20	100	BCN	3
	EUROMED	10	100	TAR	
	CAT.EXP	6	85	TAR	

Tabla 2.- Eventos registrados en los períodos de tiempo definidos

(* CAT.EXP – Catalunya Express) / (** La estimación de la velocidad se realizó mediante la medida aproximada del tiempo de paso de cada tren y se comparó con la longitud estimada para cada tren)
 (***) TAR – Tarragona ; BCN – Barcelona) / (**** No pasó ningún vehículo pesado; los valores introducidos en el MITHRA se multiplicaron por 4 (información en veh/h)) / (***** Usó el silbato al pasar cerca de los receptores)

Merece la pena destacar también otros eventos cualitativos que se sucedieron durante las mediciones: En el período M1, uno de los vehículos fue especialmente ruidoso justo delante mismo de los receptores y el paso de peatones cerca de los receptores fue especialmente elevado; en los períodos M2 y M3, el paso de peatones fue menor que en M1 y durante el período M4 no pasaron peatones.

Finalmente, la *tabla 3* muestra las condiciones meteorológicas durante las mediciones.

Período	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento
M1	25.1	66	1.5	E -> W
M2	27.5	56	1.0	E -> W
M3	27.0	58	1.1	E -> W
M4	26.0	60	0.4	E -> W

Tabla 3.- Condiciones meteorológicas en los períodos de tiempo definidos

5.2.- Simulación por ordenador

Para la simulación de los resultados se ha empleado el software MITHRA, desarrollado para ordenador personal por el Instituto francés Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) con el soporte de la agencia 01dB de Lyon, mediante una licencia disponible en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPC.

Para poder implementar las mediciones, en primer lugar ha sido necesario ampliar la base de datos de trenes para adaptarla a los trenes que circulan por la línea sobre la que se han efectuado las mediciones. Para ello se han adoptado los parámetros definidos por defecto en el MITHRA respecto a locomotoras eléctricas y, asimismo, se han adoptado dos tipos básicos de coches de pasajeros: los asimilables a TALGO, EUROMED, ARCO o ALTARIA, para los que se ha adoptado el equivalente del MITHRA identificado como “Wagon_TGV” y los coches para los demás trenes (CATALUNYA EXPRESS, CERCANIAS 440 y CERCANIAS 451), para los se ha adoptado el equivalente del MITHRA identificado como “Wagon_TEE”.

En las *fotos 8 a 13* se presentan algunas imágenes tomadas del paso de algunos de los trenes registrados.





Respecto al terreno, se ha elegido la opción de bajo crecimiento (undergrowth) y no se ha simulado el efecto del viento (viento homogéneo).

El proceso de simulación comprende 5 fases:

- Definición de las características básicas del terreno y de sus vías circundantes.
- Definición de la ubicación de los receptores para las mediciones.
- Definición de las características del tráfico en las vías definidas.
- Simulación de resultados para los receptores.
- Generación de las líneas isófonas en distintos planos horizontales y verticales.

La *figura 3* muestra el dibujo generado con el MITHRA para la definición del terreno y ubicación de los receptores. La *figura 4* muestra el mismo dibujo en una vista 3D.

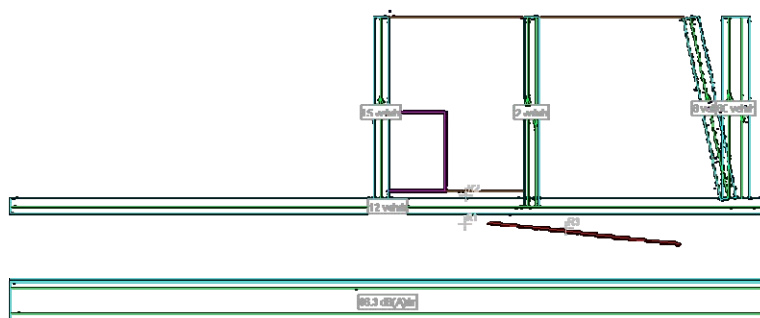


Figura 3 – Vista de la zona de mediciones simulada desde el MITHRA

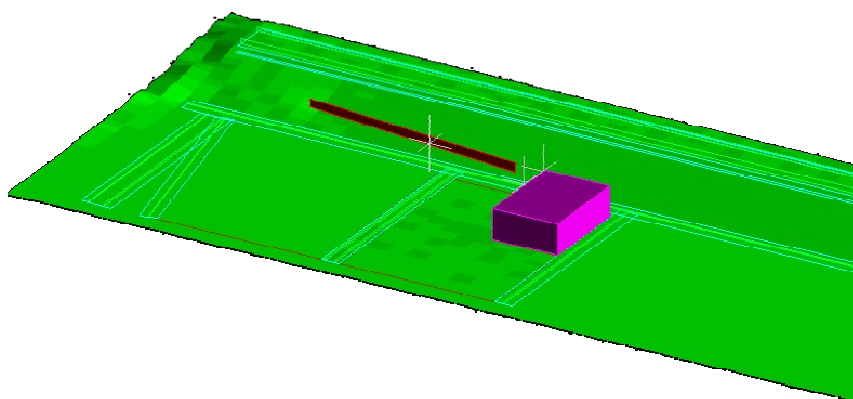


Figura 4 – Vista en 3D de la zona de mediciones simulada desde el MITHRA

Una vez simulado el terreno se documenta el tráfico en cada vía, para cada período de análisis. La *tabla 4* muestra los resultados finales obtenidos.

Período	NMPB.96			ISO 9613			CSTB.92		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
M1	64.2	62.9	58.4	63.3	61.9	59.1	64.5	62.9	59.0
M2	56.5	56.9	53.8	56.0	56.3	54.1	56.8	56.8	54.3
M3	60.9	60.2	54.8	60.0	59.3	55.5	60.1	60.1	55.8
M4	64.6	63.4	55.7	63.5	62.2	57.2	63.3	63.3	56.9

Tabla 4 – Resultados de las simulaciones con el MITHRA (Leq en dBA)

Los niveles de potencia sonora emitidos (según el MITHRA) fueron:

- M1 – 84.0 dBA en la vía del tren y 66.6 dBA en la calle Millera.
- M2 – 77.5 dBA en la vía del tren y 62.6 dBA en la calle Millera.
- M3 – 83.6 dBA en la vía del tren y 62.0 dBA en la calle Millera.
- M4 – 86.3 dBA en la vía del tren y 58.3 dBA en la calle Millera.

Como se desprende de los valores anteriores, el mayor nivel de ruido simulado sería la medición M1 ó M4, seguido de la M3 y la M2. Dicha predicción concuerda con las observaciones reales realizadas. También merece la pena observar como la medición M4 es la que tiene el mayor número de ventajas comparativas con respecto a las demás:

- Es la que tiene el mayor nivel de potencia sonora emitida por los trenes y, simultáneamente, menor incidencia del tráfico rodado.
- Es la simulación con menor número de interferencias no modelizables (sin peatones, sin ruido intencionado de vehículos, trenes sin uso de silbato y menor velocidad del viento).

Así pues, es de prever que las mediciones y simulaciones para ese período sean las que presenten el mayor nivel de coincidencia total. Para esta medición (entre las 18h15' y las 18h30'), se han establecido asimismo diversas isófonas mediante el software MITHRA. La *figura 5* muestra los resultados en un plano horizontal a 1 m de altura.

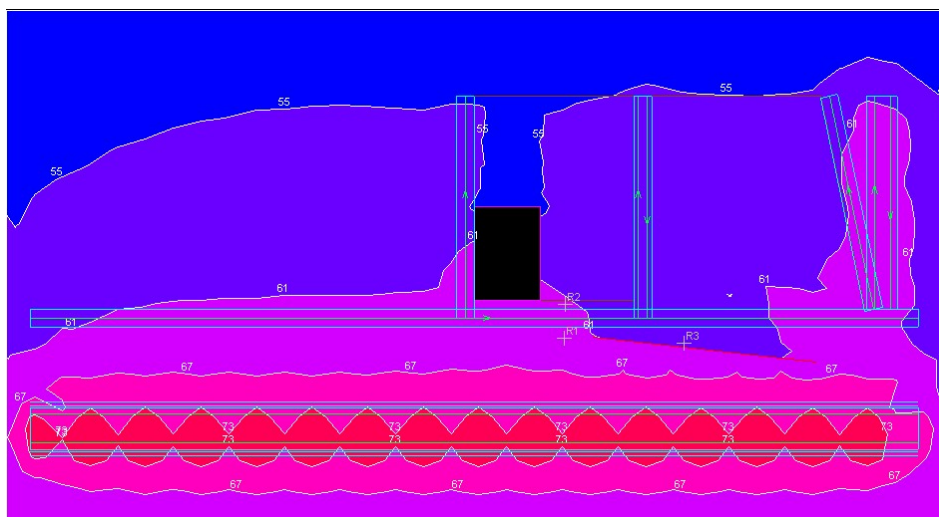


Figura 5 – Isófonas simuladas desde el MITHRA para un plano horizontal a 1m

Finalmente, la figura 6 muestra una sección transversal del terreno (no a escala) que corta a la citada barrera y permite determinar su limitado efecto sobre el terreno inmediato (no se trata de una barrera acústica sino que su función es más bien delimitativa de terreno).

Se observa el limitado efecto de la pared, en distancia, y se justifica también el menor nivel de ruido detectado en el receptor R3.

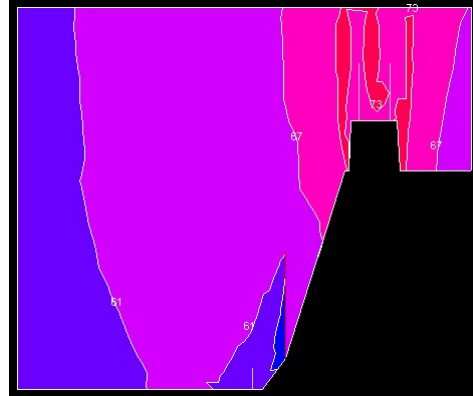


Figura 6 – Isófonas simuladas desde el MITHRA para un corte vertical (sin escala)

6.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La *tabla 5* muestra la comparativa entre los valores medidos experimentalmente y las diversas simulaciones realizadas con el MITHRA.

MEDICION M1				
	R1	R2	R3	MEJOR
NMPB.96	64.2	62.9	58.4	CSTB.92
ISO 9613	63.3	61.9	59.1	
CSTB.92	64.5	62.9	59.0	
MEDICION	65.5	69.9	62.1	
MEDICION M2				
NMPB.96	56.5	56.9	53.8	ISO9613 / NMPB.96
ISO 9613	56.0	56.3	54.1	
CSTB.92	56.8	56.8	54.3	
MEDICION	55.4	56.5	52.3	
MEDICION M3				
NMPB.96	60.9	60.2	54.8	TODOS
ISO 9613	60.0	59.3	55.5	
CSTB.92	60.1	60.1	55.8	
MEDICION	59.6	59.8	54.2	
MEDICION M4				
NMPB.96	64.6	63.4	55.7	TODOS
ISO 9613	63.5	62.2	57.2	
CSTB.92	63.3	63.3	56.9	
MEDICION	63.7	63.1	56.7	

Tabla 5 – Comparativa mediciones vs simulación.

(Se ha señalado en sombreado fuerte la simulación más próxima a la medición y en sombreado débil las simulaciones en un rango ± 1 dBA).

- Como puede comprobarse, **todos los métodos generan aproximaciones similares a los resultados** obtenidos experimentalmente, especialmente durante las mediciones sin distorsiones externas.
- La **medición M4**, como era de esperar, es la que presenta **mejores resultados comparativos** por cuanto el nivel de interferencias no modelizables fue inferior. De hecho, todos los métodos generan resultados con una **aproximación de ± 1 dBA**.

- La **medición M1** es la que tuvo el **mayor nivel de interferencias** no deseadas y también es la que presenta **peores resultados de simulación**.
- Las **mediciones M2 y M3** presentaron aún **algunas interferencias** y, como puede observarse, generan un **nivel de precisión** en la comparativa que está comprendida **entre los excelentes resultados de M4 y los pobres resultados de M1**.
- Según las **prescripciones contempladas por RENFE (2002)**, “para las zonas residenciales, de 7 a 23 h **el Leq debe ser menor de 65 dBA**”, lo cual se pudo comprobar es respetado.
- El caso del receptor **R3** es interesante porque está situado **justo detrás del muro** y se pudo comprobar que éste sirve de **pantalla**, hasta una altura de 1.2m, aunque en limitada extensión, disminuyendo el nivel sonoro en todos los episodios medidos.

7.- CONCLUSIONES

- Al no observarse una diferencia significativa entre las mediciones realizadas en campo frente a los resultados obtenidos con la aplicación del software MITHRA (métodos NMPB.96, ISO 9613 y CSTB.92, puede concluirse que la utilización de cualquiera de ellos es indistinta, para los límites señalados en este trabajo.
- Sin pretender ser una afirmación concluyente podría afirmarse que las distancias existentes entre el trazado de vías y los edificios cercanos es la adecuada para garantizar un reducido impacto acústico producido por el paso de trenes.
- Se ha puesto de manifiesto que el conocer y disponer de herramientas informáticas adecuadas para la simulación de procesos de impacto ambiental, es fundamental tanto en tareas de planificación como ejecución de proyectos y, en ese sentido, el software MITHRA aparece como válido para el caso concreto del impacto acústico promovido por vías de tránsito.

8.- AGRADECIMIENTOS

Quiere darse un especial agradecimiento al Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPC, en su línea de investigación de Mecánica y Acústica, por los medios y facilidades aportados para la realización de este trabajo, con una mención especial al Dr. Ramon Capdevila, por su colaboración y predisposición a lo largo del desarrollo del trabajo.

9.- NORMATIVA Y BIBLIOGRAFIA

- Directiva 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (DOCE del 18/07/2002).
- Decreto 2414/1961, del 30 de noviembre, en la que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Ley 16/2002 del 28 de Junio, de protección contra la contaminación acústica. (DOGC 3675 del 11/07/2002).
- Plan General de Ordenación Municipal del Ayuntamiento de Cubelles.
- Norma ISO 1996-1:1987 *Acoustics - Description and measurement of environmental noise*.